

# La construction du concept d'énergie en cours de physique : analyse d'une pratique ordinaire d'enseignement

**Nicolas HERVÉ**

École nationale de formation agronomique

**Patrice VENTURINI**

Université de Toulouse 2

**Virginie ALBE**

ENS Cachan

---

**RÉSUMÉ** • Cet article vise à rendre compte d'une pratique ordinaire d'enseignement de l'énergie en cours de physique (séance filmée d'une heure en 1re STAV de l'enseignement agricole), afin de comprendre comment ce concept abstrait est construit en classe. Nous nous plaçons dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD) pour fonder notre description, et mobilisons la théorie des deux mondes pour représenter le processus d'abstraction à l'œuvre dans la séance. Nous décrivons comment les deux mondes (des théories et modèles ; des objets et événements) sont mis en relation dans l'action conjointe et comment se développe le processus d'abstraction du concept d'énergie dans la séance. Nous inférons à partir de notre étude de cas des éléments pouvant favoriser la conceptualisation de l'énergie par les élèves : la possibilité de rendre compte de la généralité du concept à partir de différents usages (langagiers ou d'objets), l'explicitation d'éléments épistémologiques pour donner du sens au concept.

**MOTS-CLÉS** • enseignement scientifique, enseignement secondaire, enseignement agricole, didactique, énergie, épistémologie

---

**ABSTRACT** • The construction of the energy concept in a physics course: analysis of an ordinary teaching practice

This article aims at describing a physics teacher's "ordinary" practice on energy in a course at 11th grade (students are 16-17 y. old; one hour videotaped in a classroom of the agricultural educational system), in order to understand the construction of this concept in action.

We based our description on joint action theory in didactics (JATD) and we represent the process of abstraction with the theory of the two worlds. We describe how the two worlds (Theories-Models/Objects-Events) are linked and how the process of abstraction is developing in joint action. From our study we infer elements that can foster conceptualization of energy: the generality of the concept can be approached through various ways (common language use or objects), epistemology can be a tool to give meaning to the concept.

**KEYWORDS** • scientific education, secondary education, agricultural education, didactics, energy, epistemology

---

## 1. Introduction : l'énergie en physique, un concept abstrait

### 1.1. L'énergie en physique : un concept complexe à définir

Dans ses cours de physique, Feynman (1963/1999, p.43) considère que l'énergie est un concept très difficile à définir : « il est important de réaliser que dans la physique d'aujourd'hui, nous n'avons aucune connaissance de ce qu'est l'énergie [...] C'est une idée très abstraite, car c'est un principe mathématique ». De même, Poincaré (1902/1992, p. 156) éprouve des difficultés à donner un sens *réaliste* à ce concept : « dans chaque cas particulier on voit bien ce que c'est que l'énergie et on en peut donner une définition au moins provisoire ; mais il est impossible d'en trouver une définition générale. Si l'on veut énoncer le principe dans toute sa généralité et en l'appliquant à l'univers, on le voit pour ainsi dire s'évanouir et il ne reste plus que ceci : *il y a quelque chose qui demeure constant* ».

On conçoit donc à partir de ces deux déclarations qu'il y a une distance très grande entre le concept d'énergie et les caractéristiques du réel qu'il est censé interpréter : l'énergie est une « idée très abstraite », un « principe mathématique » qui renvoie à « quelque chose qui demeure constant » et qu'il est impossible de « montrer ». Autrement dit, l'énergie ne se définit qu'à travers le principe physique de sa conservation, au cours du temps, dans un système isolé.

Trois caractéristiques permettent d'appréhender la complexité de ce concept.

Tout d'abord, le principe de conservation de l'énergie est un principe *général* de la physique depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, car il a permis de mettre en relation des domaines scientifiques jusque là différents (chimique, mécanique, thermique, électrique, etc.) et s'est retrouvé au cœur des développements de la physique du XX<sup>e</sup> siècle (prévision de l'existence du neutrino en physique des particules, formalisation de l'opérateur hamiltonien en mécanique quantique, relation masse-énergie en relativité restreinte, etc.). C'est donc une proposition très générale puisqu'elle embrasse l'ensemble des phénomènes que la physique cherche à expliquer, et traduit en ce sens l'unité et la cohérence de la théorisation de la physique.

Le principe de conservation de l'énergie permet de plus d'imposer des conditions

très contraignantes à la mise en relation mathématique des grandeurs physiques : « on a ainsi découvert pour l'énergie une procédure avec une série de règles. À partir de chaque groupe de règles, on peut calculer un nombre pour chaque type d'énergie. En additionnant tous ces nombres ensemble, pour toutes les différentes formes d'énergie, on obtient toujours le même total » (Trellu & Toussaint, 1986, p. 44).

Enfin, cette définition de l'énergie par son principe de conservation est inscrite dans une *métaphysique*, dont Kuhn (1959/1990), Balibar (1999, p. 344) et Pourprix (2007) décrivent l'importance dans l'émergence historique du concept (la *Naturphilosophie* pour Kuhn, et la métaphysique de Kant pour les deux autres auteurs). L'idée de conservation de l'énergie est alors liée à l'idée plus générale d'une unité de la Nature à travers la persistance de « la substance ». Aussi, l'énergie peut être vue comme la traduction scientifique d'une propension métaphysique à chercher « l'unité sous le multiple, [le] même sous le divers, l'immuable sous le changeant » (Stengers & Bensaude-Vincent, 2003, p. 241).

C'est, selon nous, la combinaison de ces trois caractéristiques qui font que « de toutes les lois de conservation, celle de l'énergie est la plus difficile, la plus abstraite » (Trellu & Toussaint, 1986, p. 44).

Le haut degré d'abstraction du concept d'énergie est en effet au croisement de la généralité de son domaine d'application (tous les phénomènes physiques sont susceptibles d'être décrits d'un point de vue énergétique) et de la mathématisation qu'il induit des concepts ou grandeurs qui lui sont liés (par exemple : l'expression de la température comme énergie cinétique moyenne de particules, l'expression du travail d'une force, etc.) : « la portée générale des principes physiques (dont l'énoncé va bien au-delà des faits particuliers qui sont à l'origine de leur formulation) marque ses effets sur le caractère abstrait (rendu par la symbolisation mathématique) des concepts qu'ils gouvernent » (Paty, 2001, p. 218). L'idée métaphysique que le concept d'énergie traduit fait en outre qu'« il est illusoire de prétendre que ces principes [de conservation] sont assimilables à des régularités qui dérivent de l'expérience » (Stengers & Bensaude-Vincent, 2003, p. 241) et il est donc bien difficile de donner un *sens* au concept d'énergie. Paty (2001, p. 220) parle de « part d'obscurité » des concepts physiques.

### **1.2. L'abstraction du concept d'énergie : un problème didactique**

Le processus d'abstraction à l'œuvre dans la construction des savoirs scientifiques renvoie à un problème classique de l'épistémologie (Chalmers, 1987) : quel lien existe-t-il entre les données particulières du monde matériel et les propositions générales et abstraites construites par les sciences ? Cette question rend compte de la dualité intrinsèque des théories physiques : elles portent sur le monde, mais en même temps elles sont des constructions intellectuelles sur ce monde et « c'est à ces deux dimensions que l'on doit demander de rendre compte du lien entre la pensée subjective (plus exactement la pensée du sujet connaissant) et le monde physique » (Paty, 2001, p. 220).

Ce problème épistémologique en est également un pour la didactique de la physique et c'est ainsi que nous comprenons les travaux sur la théorie des deux mondes (Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009). Cette théorie sert en effet de guide à la conception de ressources pour l'enseignement de la physique et place l'activité de modélisation au centre des objectifs d'apprentissage des élèves. Les ressources pédagogiques produites visent à créer et expliciter les liens entre deux mondes, celui des théories et des modèles (monde abstrait) et celui des objets et des événements (monde concret). Cette théorie s'appuie de plus sur l'idée qu'un individu appréhende le monde matériel dans sa vie quotidienne avec des théories et modèles de la vie quotidienne : « la théorie spécifique des deux mondes peut donc être utilisée à la fois pour analyser les savoirs de la physique et les connaissances issues de la vie quotidienne » (Veillard, Tiberghien & Vince, 2011, p. 207). La théorie des deux mondes est ainsi schématisée sur la figure 1.

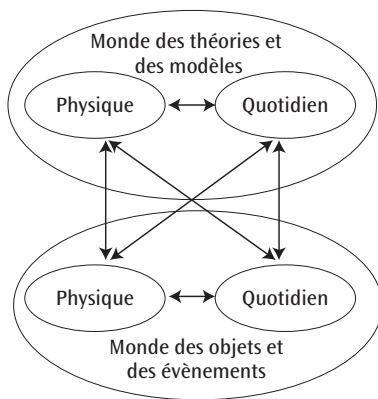


Figure 1 : représentation de la théorie spécifique des deux mondes  
Schéma issu de Veillard et al., 2011.

Nous nous proposons dans cet article, non pas de construire une ingénierie pédagogique qui se fonderait sur cette théorie, mais plutôt d'analyser avec ce cadre théorique le processus d'abstraction qui est mené en classe pour construire le concept d'énergie.

De ce point de vue, la théorie spécifique des deux mondes nous semble intéressante à double titre. Premièrement, nous avons vu que la complexité du concept d'énergie pouvait être liée à son haut niveau d'abstraction. En ce sens, on peut supposer que l'enseignement/apprentissage de l'énergie constitue un processus d'abstraction, qui peut mettre en jeu les deux mondes. Deuxièmement, de nombreux travaux de didactique relatifs à l'énergie ont montré que l'énergie est un concept scientifique complexe à enseigner et à apprendre, car il y a un écart important entre l'usage physique de la notion et ses nombreux usages quotidiens (Ballini, Robardet & Rolando, 1997, p. 83) et parce que les élèves ont des conceptions quotidiennes sur l'énergie qui résistent à l'apprentissage (pour une revue de littérature francophone,

voir Bruguier, Sivade & Cros, 2002). On peut donc supposer que le processus d'abstraction peut également mettre en jeu les deux dimensions de « la vie quotidienne » et de « la physique » que propose la théorie au sein de chaque monde.

L'objectif de cet article est de rendre compte de la construction du concept d'énergie, et de décrire le processus d'abstraction qui l'accompagne, dans une pratique « ordinaire » d'enseignement en classe de physique.

## **2. Décrire et analyser des pratiques d'enseignement : un cadre théorique**

### **2.1. Les pratiques d'enseignement de l'énergie comme objet de recherche**

Nous nous proposons dans cet article de nous intéresser à une pratique « ordinaire » d'enseignement de l'énergie en physique et nous nous inscrivons donc dans le cadre de la didactique comparée, dont l'ambition est de décrire et comprendre les pratiques d'enseignement/apprentissage qui ont lieu en classe (Mercier, Schubauer-Leoni & Sensevy, 2002).

De ce point de vue, l'énergie est un savoir dont les pratiques ordinaires d'enseignement ont été peu étudiées (Seck, 2008 ; Hervé, Venturini & Albe, 2013).

Nous fondons notre approche sur la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), dont nous présentons maintenant les fondements et les principaux concepts.

### **2.2. La théorie de l'action conjointe en didactique (TACD)**

#### **2.2.1. Au fondement de la TACD : une perspective wittgensteinienne**

Sensevy (2011) fait référence à l'idée de *grammaire* chez Wittgenstein pour fonder l'arrière-plan épistémologique de la TACD. Aussi, nous développons ici quelques éléments de la pensée de Wittgenstein.

Wittgenstein s'intéresse dans plusieurs de ses écrits à l'apprentissage et à l'enseignement, en particulier du langage. Il lie l'apprentissage des mots et leur contexte d'usage, à partir de l'idée que tout énoncé est forcément situé et que sa signification renvoie *in fine* à une pratique langagière intégrée à une activité humaine. Il nomme « jeu de langage » cette intersection entre action et langage (Schulte, 1992). La description d'un jeu de langage se fait en clarifiant la fonction des énoncés dans l'action. Cette fonction renvoie à une logique, ou grammaire, qui est l'ensemble des règles qui régissent l'emploi d'un énoncé dans une situation. Cette grammaire est déterminée par les *formes de vie* dans lesquelles s'inscrit une situation, c'est le sens qu'en donne Cavell (1979/2012, p. 271) : « plutôt que d'affirmer que nous racontons aux débutants ce que signifient les mots, ou que nous leur enseignons ce que sont les objets, je dirai : nous les initons aux formes de vie pertinentes contenues dans le langage et rassemblées autour des objets et des personnes du monde qu'est le nôtre ».

C'est par conséquent cette perspective qui fonde la posture grammaticale développée par Sensevy (2011) : une volonté assumée de considérer la recherche en didactique comme l'élucidation des règles qui permettent de rendre compte de

l'action des acteurs dans une situation d'enseignement/apprentissage, inscrite dans des formes de vie particulières (dans notre étude, une classe d'élèves en cours de sciences physiques, suivant un enseignement sur l'énergie).

### **2.2.2. L'idée de jeu dans la TACD**

Sensevy (2011) suit Wittgenstein quand il modélise l'intersection de l'action et du langage par un jeu. Le jeu permet, selon Sensevy, de modéliser le lien entre une action et une institution : « agir dans un jeu est agir attaché à une sorte de modèle que l'institution impose à nos conduites » (*ibid.*, p. 94).

L'action didactique vécue par un acteur est en effet soumise à une institution (dans notre cas, celle des pratiques scolaires liées à l'enseignement des sciences physiques), dont la spécificité est de combiner deux dimensions entremêlées : celle liée à la forme sociale que prennent les transactions didactiques, et celle liée au savoir qui est objet des transactions didactiques. C'est alors en un double sens que l'action est dite conjointe : car si « agir dans le monde social, c'est agir conjointement, et agir conjointement, c'est s'ajuster à autrui » (Sensevy, 2011, p. 52), *autrui* est présent de deux façons différentes dans une même situation. Tout d'abord, *autrui* est présent comme étant l'autre acteur dans une transaction didactique (l'enseignant pour l'élève, l'élève pour l'enseignant par exemple). Deuxièmement, *autrui* est présent dans les savoirs, car ceux-ci sont la cristallisation langagière (verbale ou non) de l'expérience des hommes, destinée à d'autres hommes. Apprendre un savoir à l'école est par conséquent entrer en contact avec une culture, généralement disciplinaire (dimension épistémique de l'institution scolaire), sous la médiation d'une culture (dimension sociale de l'institution scolaire).

### **2.2.3. Principaux concepts de la TACD**

La TACD propose alors de modéliser l'action didactique par une succession de jeux didactiques, dont le chercheur rend compte en décrivant l'entrelacement de ces deux dimensions, sociale et épistémique.

Le triplet de génèses (topogénèse – mésogénèse – chronogénèse) contribue à caractériser le jeu didactique. La topogénèse permet ainsi de décrire l'évolution de la place qu'occupent les différents acteurs dans l'action didactique ; la mésogénèse rend compte de l'évolution du milieu didactique, c'est-à-dire ce sur quoi agissent l'enseignant et les élèves et ce qui agit sur l'enseignant et les élèves, l'un pour enseigner, les autres pour apprendre. Il s'agit donc d'éléments matériels, symboliques, interactionnels, qui font sens au regard de l'enjeu de savoir pour les différents acteurs en vue de leur action ; la chronogénèse révèle (au sens photographique du terme) l'évolution de la structuration des savoirs dans l'action.

La TACD propose également un quadruplet qui modélise la manière dont l'enseignant agit en tant que maître du jeu didactique : il *définit* le jeu à jouer, c'est-à-dire il circonscrit l'espace dans lequel une action relève du jeu ou pas ; il *dévo*lue le jeu à jouer, c'est-à-dire il s'assure que les joueurs acceptent les règles du jeu ; il *ré*gule le jeu, c'est-à-dire il s'efforce à la fois de maintenir le respect des règles et d'orienter

les stratégies développées pour qu'elles soient gagnantes ; enfin il *institutionnalise* les savoirs qui représentent l'enjeu ou le gain du jeu.

### 3. Question de recherche et méthodologie

#### 3.1. Question de recherche

L'énergie est un concept central en physique, c'est pourquoi elle est un objet d'enseignement incontournable en sciences physiques et chimiques. Sa forte abstraction en fait cependant un concept difficile à appréhender. Comment le concept est-il abordé dans une pratique ordinaire d'enseignement ?

Nous nous intéressons donc ici, non pas à l'apprentissage du concept par les élèves, mais plutôt aux conditions didactiques dans lesquelles l'apprentissage se fait. Notre question de recherche se formule donc : comment l'abstraction du concept d'énergie est-elle construite en classe ?

#### 3.2. Recueil des données de recherche

Nous nous sommes intéressés à la séance introductive à l'étude de l'énergie en classe de 1<sup>re</sup> STAV (Sciences et techniques de l'agronomie et du vivant) de l'enseignement agricole.

En effet, le référentiel de formation stipule que le concept d'énergie doit être introduit dans sa généralité, avant d'être décliné dans les différents domaines de la physique, et il prescrit la manière dont il doit être enseigné : « il faut d'entrée envisager ce concept abstrait à partir de la conservation et des transformations [...] Cette préoccupation qui doit traverser toute l'étude sur l'énergie devra être présente dès la mise en commun des conceptions qu'ont les élèves sur ce sujet et qu'il est nécessaire d'entreprendre » (Référentiel STAV, 2006, p. 157).

Il s'agit dans cette étude de cas d'une séance d'une heure et d'un groupe de 12 élèves (une demi-classe) et d'une enseignante de physique-chimie expérimentée (14 années d'ancienneté).

Notre corpus se compose de quatre éléments :

- Un film de la séance, qui est un montage élaboré à partir de deux caméras, disposées de façon à filmer les élèves de face et de dos. Une des caméras suit le déplacement de l'enseignante et zoome éventuellement sur le tableau ;
- Un entretien ante-séance qui vise à avoir des indications sur le contexte d'enseignement, les représentations déclarées de l'enseignante sur l'enseignement, l'apprentissage et la nature de la science, ainsi qu'un éclairage sur la séance à venir (objectifs, tâches, difficultés prévues, chronologie prévue, précisions sur la préparation de la séance) ;
- Un entretien post-séance, qui a lieu juste après la séance filmée, qui vise à faire un bilan de la séance observée, l'enseignante effectuant une analyse « à chaud » de son action. Cet entretien permet également d'avoir des précisions sur le déroulement de la séance, notamment sur sa perception de quelques

moments qui nous ont semblés importants lors de l'observation de la séance, au regard d'une analyse épistémologique, historique et didactique préalable du concept d'énergie ;

- Des documents fournis aux élèves pendant la séance et des documents de type institutionnel qui peuvent contraindre l'action (référentiels d'enseignement, documents d'accompagnement).

### **3.3. Traitement des données**

Nous avons transcrit la séance sur le logiciel Transana, qui permet de traiter des fichiers numériques audio ou vidéo, et qui est déjà utilisé dans des recherches en didactique (par exemple Venturini & Tiberghien, 2012). Transana permet un découpage temporel du fichier en épisodes et chaque épisode peut être classé dans une banque de données et associé à différents mots-clés définis par l'utilisateur. Il permet alors de visualiser l'évolution temporelle de chaque mot-clé sur la durée du fichier et d'avoir ainsi une vision dynamique de la séance.

Nous avons ainsi découpé la séance en référence à la TACD, tout d'abord en jeux didactiques, qui correspondent aux moments dans la séance où l'enseignant donne des règles définitoires d'action pour les élèves. Cette structuration, où seuls les jeux et les temps apparaissent, correspond au synopsis de la séance (tableau 1). Nous intitulons chaque jeu en fonction de la tâche que doivent réussir les élèves pour gagner le jeu, et avons décrit sommairement son déroulé.

Nous avons également découpé chaque jeu didactique en épisodes plus fins et nous avons alors indexé chaque épisode avec des mots-clés relatifs à notre cadre théorique :

- les formes d'organisation sociale dans la classe (classe entière ; individuelle ; en groupe ; exposé, etc.) ;
- les catégories en lien avec la TACD : pour la mésogénèse, les supports sémiotiques qui sont susceptibles de participer au milieu (tableau, feuille de papier, objet matériel, etc.), le registre des énoncés qui sont enjeux des jeux didactiques (énoncé en langage courant, énoncés scientifiques conceptuels<sup>1</sup>, énoncés scientifiques empiriques<sup>2</sup>) ; pour la topogénèse, la place majoritairement occupée par les acteurs dans la transaction (topogénèse sous la responsabilité des élèves, de l'enseignant, mixte ou de personne).

Les épisodes se succèdent quand un ou plusieurs mots-clés changent.

Nous avons parallèlement analysé systématiquement les jeux de langage qui ont lieu dans chaque jeu didactique, en convoquant l'ensemble du corpus, afin de rendre compte de la logique des échanges entre les acteurs, ainsi que la manière

---

1 Nous définissons les énoncés scientifiques conceptuels comme des énoncés qui portent sur le monde des théories et des modèles.

2 Nous définissons les énoncés scientifiques empiriques comme des énoncés qui portent sur le monde des objets et des événements.



Temps	Descriptif des différents jeux constituant la séance
5 : 47	<p><b>Jeu n°1 : associer des mots qui viennent à l'esprit au mot « énergie »</b></p> <p>L'enseignante demande à chaque élève d'associer un mot au terme « énergie » et envoie au tableau une élève qui note alors les diverses propositions. L'enseignante fait ensuite un bilan des mots écrits au tableau en distinguant ce qui relève d'énoncés du langage courant et ce qui relève d'un usage scientifique. Elle s'adresse ensuite à toute la classe pour dégager des mots liés à d'autres usages de la vie quotidienne.</p>
12 : 56	<p><b>Jeu n°2 : proposer oralement une définition de l'énergie</b></p> <p>L'enseignante demande aux élèves de définir l'énergie. Devant l'absence de réponse, elle régule le jeu en demandant : pourquoi est-ce difficile de définir l'énergie ? Les élèves proposent alors des éléments de réponse (« c'est pas concret », « c'est vaste ») et donnent des exemples d'effets observables de l'énergie. L'enseignante définit alors oralement l'énergie comme le travail d'une force. Elle demande ensuite aux élèves de définir la notion de force et les élèves l'associent à « vecteur ». Elle institutionnalise alors oralement la force et l'énergie comme étant des concepts qui peuvent être modélisés sous une forme mathématique. L'enseignante questionne ensuite les élèves sur une définition du mot « concept », puis institutionnalise oralement le rôle des mathématiques dans les définitions d'objets abstraits de la physique. L'enseignante aborde alors l'idée de la transformation de l'énergie par un jeu de questions/réponses avec les élèves.</p>
22 :18	<p><b>Jeu n°3 : écrire les caractéristiques de l'énergie</b></p> <p>L'enseignante distribue un photocopié qui sert de cours aux élèves et sur lequel ils écrivent le titre du chapitre : l'énergie. L'enseignante fait noter aux élèves les mots écrits au tableau lors du jeu 1. Un élève lit ensuite un texte sur le photocopié concernant la difficulté à définir l'énergie et l'enseignante dicte alors la définition de l'énergie (capacité d'un système à produire un travail) donnée au jeu 2. L'élève reprend alors sa lecture et institutionnalise la notion de « concept ». L'enseignante explore par une série de questions/réponses le lien entre la physique et les mathématiques, en développant l'exemple du poids. Elle dicte ensuite que l'énergie se transforme et que toutes les transformations ne sont pas réversibles.</p>
30 : 45	<p><b>Jeu n°4 : décrire en groupe un convertisseur d'énergie en utilisant un modèle donné</b></p> <p>L'enseignante présente un modèle simplifié de chaîne énergétique (« forme de l'énergie entrante ») dans le « convertisseur » et « forme de l'énergie sortante utile ») et demande aux élèves de se répartir en 4 groupes, auxquels elle confie un convertisseur d'énergie (un alternateur, une calculatrice solaire, un sèche-cheveux, une plante verte). Les élèves doivent décrire le fonctionnement de l'objet qui leur a été confié à l'aide du modèle donné. Chaque groupe travaille ensuite à décrire son objet suivant le modèle proposé et l'enseignante passe alors de groupe en groupe pour expliquer le matériel et les aider à jouer.</p>
42:50	<p><b>Jeu n°5 : exposer et discuter les formes d'énergie identifiées dans les différents convertisseurs d'énergie</b></p> <p>L'enseignante demande à chaque groupe de restituer leur travail au reste des élèves. Les groupes présentent alors successivement leur convertisseur et schématisent les transformations d'énergie au tableau à l'aide du modèle de chaîne énergétique donné.</p>
49 : 24	<p><b>Jeu n°6 : nommer correctement les formes d'énergie</b></p> <p>L'enseignante reprend successivement les modèles écrits au tableau pour chaque convertisseur (alternateur, calculatrice solaire, sèche-cheveux, plante verte). Elle institutionnalise alors les noms « corrects » de chaque forme d'énergie et fait trouver aux élèves une forme d'énergie absente des jeux précédents : l'énergie nucléaire.</p>

Tableau 1 : Synopsis de la séance

dont ils utilisent les éléments du milieu qu'ils ont à leur disposition. Cette analyse mésogénétique des jeux de langage vise à identifier la manière dont le concept d'énergie est construit. Les indicateurs qui nous ont servi pour rendre compte du processus d'abstraction sont référés d'une part aux caractéristiques du concept de l'énergie, telle que nous les avons définies en introduction, et d'autre part à la nature des objets de la mésogenèse, en référence à la théorie des deux mondes. Ainsi, nous avons repéré dans les transcriptions des mots ou des phrases portant sur la généralité du concept d'énergie (différents usages, objets, domaines de la vie quotidienne ou de la physique), sa mathématisation (mise en relation de grandeurs, explicitation d'outils mathématiques, référence aux mathématiques), sa métaphysique (mise en avant de l'« obscurité » ou de l'épaisseur du concept, point de vue substantialiste). Chaque occurrence d'une de ces trois dimensions constitue pour nous un indice d'abstraction. Nous avons également identifié dans les transcriptions des éléments (mots, phrases, expressions) indiquant comment les savoirs mis en jeu se situaient en référence à la théorie des deux mondes (mobilisation d'objets ou d'exemples issus de la physique ou de la vie quotidienne ; référence à des modèles ou théories de la vie quotidienne ou de la physique). Nous considérons alors que chaque changement de monde nous renseigne sur le processus d'abstraction en cours.

## 4. Résultats

Nous exposons nos résultats en deux parties successives, qui renvoient à un découpage en deux parties de la séance analysée. La première partie de la séance (jeux 1 à 3) consiste en l'extraction du concept d'énergie à la fois du langage courant et de son fond métaphysique par un éclairage de nature épistémologique sur la nature conceptuelle de l'énergie (4.1). La deuxième partie (jeux 4 à 6) consiste en l'utilisation d'un modèle simplifié de chaîne énergétique pour construire le vocabulaire scientifique associé aux différentes formes d'énergie. Cette deuxième partie relève de la simulation d'une communauté scientifique à l'échelle de la classe (4.2). Ce découpage en deux parties se justifie également en référence à l'institutionnalisation écrite des savoirs, qui n'intervient que dans les jeux 3 et 6 pour mettre à l'écrit ce qui s'est joué dans les jeux précédents.

### 4.1. L'énergie : de l'usage courant au concept scientifique

#### 4.1.1. Une prise en main progressive du milieu par l'enseignante

La figure 2 présente l'évolution temporelle des mots-clés codés sur Transana.

Grâce à la figure 2, nous pouvons dégager trois caractéristiques de la première partie de séance.

Tout d'abord, nous observons que la topogénèse passe progressivement de la responsabilité des élèves, avec une organisation de travail de type individuel (jeu 1), à une responsabilité partagée/mixte (jeu 2) puis sous la responsabilité de l'enseignante (jeu 3), où l'organisation de la classe est « en classe entière ».

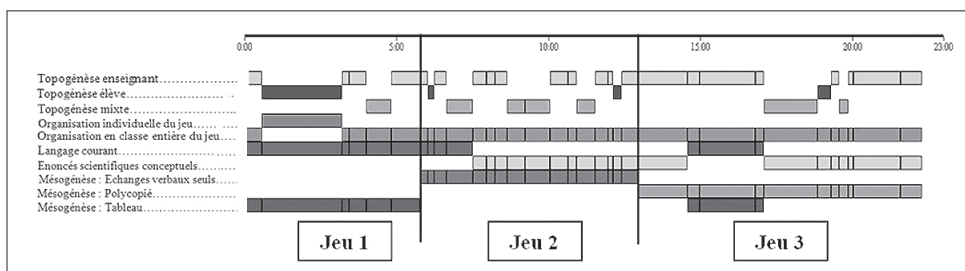


Figure 2 : évolution des descripteurs des jeux 1 à 3

Cette évolution se fait de plus sur fond de changements de mésogénèse. Le tableau est en effet tout d'abord utilisé comme outil de médiation pour rendre compte d'un travail individuel des élèves, puis il devient support d'une réflexion collective une fois que chaque élève s'est exprimé (jeu 1). Cette réflexion se poursuit uniquement à l'oral dans un échange entre l'enseignante et les élèves (jeu 2). Lors du jeu 3, l'ensemble du travail effectué jusqu'à présent est précisé et institutionnalisé : un polycopié distribué aux élèves devient l'élément central du milieu didactique.

Nous observons également dans la figure 2 que la première partie de la séance consiste dans le passage progressif d'énoncés d'abord de langage courant (jeux 1 et 2) à des énoncés majoritairement scientifiques conceptuels (jeux 2 et 3). La séance commence en effet par l'explicitation de différents usages quotidiens du mot « énergie », puis c'est le point de vue scientifique sur l'énergie qui est exploré puis institutionnalisé. À ce titre, le travail à l'oral fait au jeu 2 constitue un « sas » pour passer du langage proche des élèves à un langage scientifique.

Nous précisons maintenant ce passage du langage courant au langage scientifique en décrivant les jeux de langage par lesquels l'action conjointe se déploie chronogénétiquement.

#### 4.1.2 .L'énergie dans le langage courant

L'enseignante commence par définir le premier jeu de la séance :

1. E : [...] alors l'énergie donc je vais vous poser une question très simple je vais vous demander d'associer un mot un terme ce qui vous vient la première chose qui vous vient à l'esprit lorsque je vous parle d'énergie le mot énergie à quel type de mots vous l'associez (0 : 34)

Le but du jeu consiste ainsi à laisser les élèves s'exprimer sur l'énergie (la seule règle formulée est ici : vous pouvez *tout* dire). Une élève est chargée de noter au tableau les propositions émanant du groupe.

Sont alors introduits dans le milieu les mots : force, solaire, chaleur, vent, hydraulique, motrice, électricité, lumière, hydrocarbures, cinétique, générateur, nucléaire, tonus, vitesse, vivacité, vitamines.

Lors de l'institutionnalisation orale de ce jeu, l'enseignante distingue deux registres de langage parmi les termes écrits au tableau [T 51] :

51. E : [...] donc peut être que se dégagent là un peu *deux thèmes deux idées* on a à la fois discuté *l'énergie dans le langage courant* avec un peu le tonus la vivacité vous m'avez dit les vitamines le qu'est-ce qu'on a dit encore la vitesse on parle on l'a dit un peu dépenser de l'énergie faire attention à son énergie en garder en garder pour justement se préparer peut-être à un exploit sportif ou autre chose et puis il y a des termes déjà de je vous ai dit *vous avez raisonné déjà un peu en physiciens* avec lorsque je vois hydraulique motrice j'ai vu cinétique générateur donc là on a déjà une vision un peu physique de l'énergie (5 : 45)

Certains mots sont associés à l'usage courant du mot « énergie » (force, tonus, vitesse, vivacité, vitamines) alors que d'autres renvoient plutôt à un usage lié à des techniques courantes (certains mots peuvent être associés aux techniques issues des sources renouvelables d'énergie, barrages *hydrauliques*, éoliennes avec le *vent*, pompe à *chaleur*, panneaux *solaires* ou bien aux centrales *nucléaires*, qui sont des techniques de production d'*électricité*) ou directement à la physique (cinétique, générateur, motrice). De plus, en introduisant des mots spécifiques au langage de la physique, les élèves « raisonnent déjà un peu en physiciens » selon l'enseignante. Ils sont ainsi identifiés à une communauté : par leur « raisonnement », ils appartiennent à la communauté des « physiciens ». L'enseignante indique également implicitement son objectif pour la séance : le « un peu » indique que les élèves sont déjà sur le chemin de ce qu'elle attend d'eux, qu'ils « raisonnent en physiciens », c'est-à-dire qu'ils pensent à l'aide des outils de la physique. Cette activité introductrice consiste ainsi à reconnaître la grande *généralité* des termes associés à l'énergie, grâce à la juxtaposition de mots ou d'expressions individuellement choisis.

#### **4.1.3. Un premier pas vers la définition de l'énergie : la reconnaissance de sa complexité**

Le jeu n°2 (consacré à la définition de l'énergie) fait le lien entre l'usage courant et la définition scientifique de l'énergie.

L'enseignante propose alors aux élèves de définir l'énergie [T 51] :

51. E : [...] alors pour vous maintenant je vais vous poser une question elle est difficile je vous le dis comment vous définiriez l'énergie est-ce que vous auriez une définition à me donner allez qui se lance (6 : 02)

Une élève propose une définition [T 52] mais les autres élèves ne proposent rien, ce qui oblige l'enseignante à commenter le silence :

53. E : [...] votre blanc m'intéresse ça m'intéresse beaucoup il est allez qui c'est qui veut se lancer un peu mais *c'est intéressant je vais vous dire pourquoi parce que l'énergie c'est quand même quelque chose de très difficile à définir et le fait que vous me répondiez pas va pas me contredire* pourquoi c'est difficile à définir à votre avis (6 : 38)

L'enseignante dévolue alors le jeu en précisant les règles et en s'impliquant : « le fait que vous me répondiez pas va pas me contredire » : « c'est intéressant » car « l'énergie c'est quand même quelque chose très difficile à définir ».

Plusieurs éléments permettent d'interpréter le silence des élèves.

Tout d'abord, le jeu précédent a en quelque sorte réfuté la possibilité d'une référence univoque, une définition de l'énergie est impossible : tous les mots proposés par les élèves dans l'épisode précédent ont un « air de famille » dans le sens où tous peuvent être associés à l'énergie mais la plupart de manière différente. Qu'y a-t-il de commun en effet entre « nucléaire » et « vitamine », hormis le fait que ces deux mots peuvent être référés à « énergie » ?

Des élèves expliquent alors la difficulté qu'ils ont à définir l'énergie [T 54-68] :

54. Mickaël : *c'est vaste*  
 55. Paul : parce que c'est vaste  
 56. E : c'est vaste oui d'autres choses  
 57. Cindy : *c'est pas quelque chose de matériel*  
 58. E : c'est pas quelque chose de matériel ça c'est pas mal  
 59. Mickaël : non c'est  
 60. Clément : *parce qu'il y en a plusieurs*  
 61. E : il y en a plusieurs alors le fait que ce soit pas quelque chose de matériel c'est-à-dire  
 62. Guillaume : on peut pas la toucher c'est pas concret  
 63. Cindy : *c'est pas un objet* (6 : 50)

Les élèves expriment leur difficulté à donner une définition à l'énergie par le fait que ce terme ne peut être associé de manière unilatérale à un objet matériel : « c'est vaste » [T 54], « il y en a plusieurs » [T 60].

Des élèves proposent ainsi comme explication : « c'est pas quelque chose de matériel » [T 57], « on peut pas la toucher, c'est pas quelque chose de matériel » [T 57], « on peut pas la toucher c'est pas concret » [T 62], « c'est pas un objet » [T 63].

L'enseignante rebondit sur le fait qu'on ne puisse pas toucher l'énergie pour avancer un « coup » dans le jeu joué :

64. E : *bravo c'est pas concret on peut pas la toucher est-ce qu'on la voit*  
 65. Guillaume : non plus  
 66. E : non plus par contre qu'est-ce qu'on voit  
 67. Collectif : [inaudible]  
 68. Paul : ce qu'elle produit  
 69. E : oui ce qu'elle ses effets c'est-à-dire qu'on voit les effets qu'elle a mais effectivement on ne la voit pas alors parlez moi des effets que vous pouvez voir quels types d'effets peut produire une énergie (7 : 00)

Ce « coup » permet à la fois à l'enseignante d'abstraire l'énergie (« bravo ce n'est pas concret » [T 64]) et de faire un retour au concret : « montrer » l'énergie par la vision de ses effets. Dans la formulation « on voit les effets », l'enseignante lie l'énergie à un *phénomène*, qui étymologiquement signifie « ce qui apparaît aux yeux ». L'enseignante demande ensuite aux élèves des exemples de « phénomènes » : « l'éolienne qui tourne », « la lumière », « un déplacement » [T 70-73].

L'enseignante peut alors institutionnaliser oralement un savoir [T 74] :

74. E : une lumière un déplacement oui tout ça c'est ça donc effectivement voyez *vous avez vraiment touché du doigt c'est quelque chose de difficile à définir alors les physiciens l'ont défini d'accord les physiciens l'ont défini et ils ont défini ça comme étant une capacité pour un système à produire un travail le travail lui c'est aussi quelque chose pas facile à définir les physiciens le définissent comme un déplacement d'une force* (7 : 567)

On retrouve lors de cette institutionnalisation l'impossibilité qu'il y a dans la classe à penser l'abstrait sans recours au concret par l'expression employée par l'enseignante : «vous avez vraiment touché du doigt», sous-entendu l'abstraction de l'énergie. La mise en avant de la complexité d'une définition de l'énergie est également liée à l'épaisseur métaphysique du concept : il est facile de trouver des exemples particuliers liés à l'énergie, mais une définition générale semble hors d'atteinte.

L'enseignante rattache alors pour la première fois explicitement le mot «énergie» à ce qu'en disent les physiciens, en introduisant un autre concept, celui de travail.

On peut interpréter cette première occurrence du rôle de la physique : «[l'énergie] est difficile à définir, alors les physiciens l'ont définie». Cet énoncé est quelque peu paradoxal car une phrase banale aurait plutôt été : «[l'énergie] est difficile à définir, *et pourtant* les physiciens l'ont défini». Ici l'énoncé peut se lire comme «[l'énergie] est difficile à définir, *donc* les physiciens l'ont définie». L'image donnée de la physique est alors que son objet est de s'attaquer à des problèmes difficiles et que proposer une définition de l'énergie fait justement partie du travail des physiciens.

L'objet de ce jeu est donc de passer d'un usage courant du mot «énergie» à une définition de l'énergie. Cette définition est institutionnalisée comme étant complexe. Le nœud est alors résolu par l'enseignante en rappelant cette complexité, en la fondant dans l'abstraction («c'est pas concret» [T 64]), en ancrant cette abstraction dans le réel («*par contre* qu'est-ce qu'on voit?» [T 66]) et finalement en introduisant dans le milieu un autre concept (le travail), qui inscrit l'énergie dans un réseau conceptuel élargi. Cette définition de l'énergie par le travail mécanique introduite par l'enseignante est en contradiction avec l'approche préconisée par le programme de STAV, elle constitue cependant une définition classique, que l'on retrouve dans les curricula «traditionnels» (Koliopoulos & Ravanis, 1998), ainsi que dans de nombreux manuels. On peut donc supposer ici que l'enseignante se réfère à cette tradition, qui fait dériver le concept d'énergie d'une approche purement mécanique. De même, la définition du travail proposée oralement par l'enseignante n'est ni précise, ni rigoureuse, mais cette liberté prise lui permet selon nous d'introduire et de mettre l'accent sur un concept déjà vu par les élèves (la force).

Ainsi, une nouvelle sémantique est introduite dans ce jeu, qui a pour intention de donner un sens physique à l'énergie : la notion de force, déjà vue dans les classes antérieures, est associée à un nouveau terme, celui de travail, qui participe à une définition de l'énergie. Autrement dit, la notion qui est l'objet d'enseignement commence dans cette séance à être rapprochée d'une notion connue : on a donc ici la modification en devenir d'un réseau conceptuel déjà formé, celui de force, par l'intégration de deux nouvelles notions, le travail et l'énergie.

#### 4.1.4. De l'idée de force à celle d'énergie : la construction du concept de « concept physique »

L'enseignante focalise ensuite les échanges sur le concept connu de force [T 74-98] :

74. E : alors ce mot force je crois que quelqu'un l'a dit non dans les termes  
 75. Cindy : c'est moi  
 76. E : oui t'as été la première *qu'est-ce que c'est ce mot force ?* est-ce que vous avez déjà rencontré le terme force dans votre scolarité ?  
 77. Collectif : oui  
 78. E : alors dites moi *qu'est-ce que c'est ? Comment vous le définiriez ?*  
 79. Didier : un vecteur  
 80. Guillaume : ouais  
 81. E : vecteur immédiatement vous l'associez à un vecteur ce qui est tout à fait juste *alors pourquoi l'associe-t-on à un vecteur ? ben tout simplement parce que la force on est dans le même cas que l'énergie est-ce qu'on la voit ?*  
 82. Jérémy : non  
 83. E : *non par contre ses effets enfin oui l'effet que peut produire une force on peut le voir* donnez moi un exemple l'année dernière vous avez vu un type de force que vous avez travaillé  
 84. Guillaume : la force motrice la force motrice non  
 85. E : force motrice c'est pas à ça que je pensais mais dis en moi un peu plus peut-être  
 86. Mickaël : la traction  
 87. E : la force de traction c'était ça Guillaume un exemple quel schéma ou quelle situation ou bien en fait  
 88. Jérémy : avec une voiture qui tire une remorque  
 89. E : la voiture qui tire une remorque donc effectivement la voiture exerce une force de traction sur la remorque ce déplacement là on le voit d'accord et *la force exercée on l'a en fait on a décidé c'est des mathématiciens on s'est mis en accord avec les mathématiciens on a décidé de la symboliser par une flèche d'accord ce que tu as appelé le vecteur [...]*  
 90. [...]
   
 98. E : alors le sens la direction c'est le point d'application le départ à quel moment où est-ce que vous partez pour dessiner votre flèche donc voyez ce ce tout ça *tous ces outils mathématiques en fait ils sont là pour essayer d'expliquer un phénomène que l'on ne voit pas mais par contre un phénomène dont on voit les effets ok donc l'outil mathématique là il va nous aider justement à pouvoir décrire toutes ces toutes ces situations là donc tout ce qui est de l'ordre de l'énergie, du travail, de la force ce sont des choses qui sont abstraites mais qu'on va essayer d'expliquer grâce à l'outil mathématique on parle de concept* (10 : 39)

Dans ce passage, l'enseignante s'appuie sur le contrat didactique pour organiser l'intégration du nouveau savoir (l'énergie) et de l'ancien (la force) à travers la reconnaissance d'un lien commun : une abstraction qui peut être représentée mathématiquement (« un concept » pour l'enseignante).

Ce lien particulier entre la physique et les mathématiques est l'objectif de l'enseignante car c'est ce qui sera institutionnalisé par la suite (voir 4.1.5). C'est en ce sens que l'on comprend l'absence de rigueur dans l'échange avec les élèves : l'enseignante confond [T 83] l'action mécanique (qui a des effets mécaniques) et la force (qui est le modèle qui permet d'en rendre compte), ainsi que la force et le modèle mathématique du vecteur. Elle clarifie cependant son propos [T 98] en associant la force et l'énergie au seul monde des théories et des modèles. Son objectif n'est pas



ici d'être précise sur le concept de force mais d'amener les élèves à accepter l'idée d'une mathématisation de l'énergie.

Les « coups » joués par l'enseignante prennent ainsi la forme suivante :

(1) La force a des propriétés analogues à l'énergie [T 81]

81. E : *la force on est dans le même cas que l'énergie*

Or

(2) la force est représentée par un symbole mathématique [T 89]

89. E : *on s'est mis en accord avec les mathématiciens on a décidé de la symboliser par une flèche d'accord ce que tu as appelé le vecteur*

Donc

(3) les mathématiques vont servir à décrire l'énergie [T 98]

98. E : *tout ce qui est de l'ordre de l'énergie, du travail, de la force ce sont des choses qui sont abstraites mais qu'on va essayer d'expliquer grâce à l'outil mathématique.*

Le jeu des élèves consiste alors, selon nous, à arriver à (1) en proposant le mot « vecteur » comme définition de la force, à donner un exemple de force entre (1) et (2) et à rappeler les propriétés d'un vecteur entre (2) et (3).

Autrement dit, les élèves sont focalisés sur la notion de force alors que l'enseignante vise à faire le lien entre physique et mathématiques, en s'appuyant sur le concept de force mais en l'intégrant à un concept plus vaste, qui réunit force, travail et énergie : le concept de « concept ». Ainsi, tout se passe comme si l'enseignante régule le milieu de façon à ce que les élèves puisent dans le contrat didactique de quoi faire avancer le milieu, et cette avancée permet à l'enseignante de faire évoluer le contrat en y injectant une nouvelle notion (le concept). L'introduction de la notion de concept permet à la fois à l'enseignante de faire appel au contrat didactique pour faciliter la reconnaissance de l'abstraction de l'énergie par les élèves, et il permet également de dévoluer l'utilisation des mathématiques en physique, ce que l'enseignante justifie dans l'entretien ante-séance [ante 90-136] :

90. E : oui et un peu et un peu de leur dire que c'est bien de parler mais un moment aussi voilà il y a des maths *on en a besoin l'outil mathématique* on en a besoin enfin tu vois un peu aussi rapporter ça *parce qu'ils peuvent être très intéressés à la discussion mais après aussi il faut passer à la phase exercice application définition et bon là c'est des maths quand même* et donc voilà pour essayer un peu de parler de ça à ce moment-là

[...]

136. E : mais alors moi *c'est des gamins qui ont énormément de blocage avec les maths* souvent mais moi je ne cesse de leur dire que sans les maths enfin que *les maths sont un outil que nous on va appliquer*

Ainsi, l'enseignante conçoit les mathématiques comme des outils nécessaires à la physique, mais dans le même temps, elle développe une vision fermée de cet usage (un outil que l'« on va appliquer ») dont on peut supposer qu'il renvoie à la forme mathématique que prend l'examen auquel elle prépare les élèves.

C'est pourquoi nous pouvons supposer également que c'est pour dévoluer cet



usage des mathématiques, qu'elle identifie comme une source de blocage dans l'apprentissage de la physique, que l'enseignante développe sa vision de la science dans le jeu joué.

En [T 89], l'utilisation du vecteur pour représenter une force est conçue par l'enseignante comme le fruit d'une décision entre deux communautés (« les physiciens et les mathématiciens ») qui ont discuté (« on s'est mis en accord ») pour créer un symbole (« la flèche »). Le trait est ici forcé dans la distinction entre les deux communautés, ce que l'on peut bien comprendre en estimant que l'enseignante se réfère ici aux deux disciplines scolaires afin que les élèves voient le lien entre ces deux disciplines ; en fait l'élaboration du calcul vectoriel s'est développée simultanément en mécanique et en algèbre au cours du XX<sup>e</sup> siècle (Drobovolskij, 1968). De plus, en [T 98], les mathématiques sont vues comme un ensemble d'« outils », dont la fonction est « d'expliquer un phénomène que l'on ne voit pas » et de « décrire toutes ces situations ». L'énergie, la force, le travail sont par conséquent définis comme des concepts, « des choses qui sont abstraites », explicables et descriptibles grâce à un outil mathématique. La vision du concept développée par l'enseignante relève d'une conception classique des concepts physiques, telle que le développe par exemple Paty (2001, p. 217) : « le système des concepts physiques est tissé par la mathématisation des grandeurs par lesquelles ces concepts sont exprimés ».

#### **4.1.5. Ce qui est institutionnalisé dans le polycopié : l'énergie comme concept**

Le jeu 3 consiste en la reprise à l'écrit, à partir d'un polycopié distribué, et en l'approfondissement de ce qui vient d'être dit dans les jeux précédents. Un élève lit la définition écrite sur le polycopié :

L'élève reprend sa lecture.

136. Mickaël : attention les notions d'énergie de travail de force sont abstraites et par conséquent difficiles à définir les physiciens parlent alors de concepts le concept de l'énergie le concept de force *un concept est une représentation mentale d'une notion abstraite que l'on peut mieux cerner en les modélisant par des outils mathématiques par exemple c'est parce qu'une force ne se voit pas que l'on caractérise ses effets par un vecteur* (19 : 19)

Le concept est donc institutionnalisé comme étant « une représentation mentale d'une notion abstraite », représentation qui s'exprime le plus souvent dans le langage mathématique en physique.

Travailler sur les concepts avec les élèves, ce serait ainsi travailler leurs représentations mentales. Ceci fait écho avec l'entretien ante-séance [ante 139-142] :

139. NH : et justement cette phrase « à quoi ça sert ce qu'on fait en physique-chimie » comment t'y réponds

140. E : ah bah j'y réponds facilement enfin facilement alors ça peut servir directement si on continue dans les études ce qui est rare mais certains peuvent après poursuivre dans des études de physique et donc ils ont besoin de cet outil-là sinon *je leur explique que le cerveau c'est une machine cette machine-là elle a plein de connexions possibles que plus on lui montre des connexions et des différentes connexions et un raisonnement mathématique un raisonnement sur la physique qui va pas leur servir quand ils vont sortir je leur dis ah c'est sûr vous irez dans la cour là ça va vous servir à rien sauf que vous aurez donc votre cerveau aura travaillé aura cherché il aura il se sera connecté avec des façons nouvelles* et ça ça peut les aider dans la vie de tous les jours je leur dis le jour où vous aurez un souci de ou autre chose *c'est une façon de raisonner qui fait que voilà vous apprenez quelque chose donc votre cerveau sera capable* et une ouverture d'esprit aussi

141. NH : donc toi ton rôle dans tout ça c'est

142. E : c'est une ouverture d'esprit *c'est l'acquisition de connaissances aussi mais c'est essentiellement aussi où voilà une façon de raisonner* une certaine forme de façon de raisonner de comprendre le monde puisque c'est ça en fait ils sont dans un monde et il faut s'y adapter il faut y vivre l'adaptation par exemple alors c'est comme je leur dis en plus eux c'est des générations où ça bouge enfin voilà donc l'adaptation à la vie de tous les jours répondre à des questionnements ça s'apprend aussi en cours voilà même si ils sont en train d'écrire une équation et puis derrière ça il y a la concentration il y a tout ça quoi.

Ce qui nous semble intéressant dans l'extrait précédent est que l'enseignante fait référence à une théorie de la cognition pour donner du sens à l'enseignement/apprentissage de sa discipline : les savoirs sont seconds, la tâche permettant de « créer des connexions dans le cerveau » est première, « c'est l'acquisition de connaissances mais c'est essentiellement [...] une façon de raisonner » [ante 142].

#### 4.1.6. Conclusion

Cette première partie de séance est constituée de jeux didactiques dont l'évolution de la topogénèse montre une prise en main progressive de l'enseignante : autonomie des élèves puis cours dialogué et enfin cours magistral. Cette évolution reflète le passage de l'usage courant du mot énergie dans le langage, qui est connu des élèves, à son usage spécifique à la physique, qui est maîtrisé seulement par l'enseignante. Ce passage est délicat car il semble impossible pour l'enseignante et les élèves de construire l'abstraction du concept sans référence au concret. C'est sans doute dans cette impossibilité que se loge la métaphysique de l'énergie (*quelque chose* qui permet de décrire des phénomènes hétérogènes, qu'on ne peut montrer). L'action de l'enseignante consiste ainsi à passer du monde des objets et des événements quotidiens, dont la mobilisation permet d'afficher la grande généralité des mots ou expressions associés à l'énergie, au monde des concepts et des modèles, d'abord dans leur aspect quotidien, pour ensuite construire progressivement le concept scientifique. C'est alors la mise en avant de la notion de « concept » qui permet à l'enseignante à la fois de s'extirper de cette difficulté, de construire un usage scientifique du terme et d'évacuer le problème de la définition de l'énergie, en le mettant au même niveau que celui de la force, via le recours au concept de travail. Ainsi, un lien est fait avec un concept déjà connu par les élèves. L'explicitation et l'institutionnalisation de la

nature conceptuelle de l'énergie permettent ainsi d'éclairer, de donner un sens à cette complexité, mais aussi de poser les premiers jalons d'une mathématisation à venir dans les prochaines séances.

La portée conceptuelle de l'énergie est assumée par l'enseignante qui y voit même un objectif d'éducation pour les élèves : la mise au jour épistémologique est pour elle le reflet de la grammaire mentale, car travailler les concepts comme l'énergie est un effort de la pensée et est donc vue par l'enseignante comme la possibilité d'un développement intellectuel pour l'élève.

## 4.2. L'opérationnalisation du concept d'énergie par un modèle simple de chaîne énergétique

### 4.2.1. Des énoncés scientifiques conceptuels qui permettent aux élèves de créer de nouveaux énoncés

Nous présentons ci-dessous la figure 3 qui montre l'évolution des mots-clés codés sur Transana pour la deuxième partie de la séance.

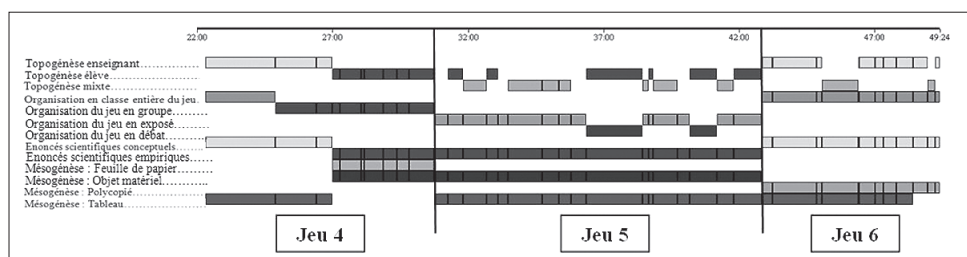


Figure 3 : évolution des descripteurs des jeux 4 à 6

Nous observons sur la figure 3 que la topogénèse est sous la responsabilité de l'enseignante lors d'une partie des jeux 4 et 6. L'action de la fin du jeu 4 et dans le jeu 5 a la propriété d'être une longue période où la topogénèse est mixte ou sous la responsabilité des élèves.

Ce changement dans la topogénèse est lié également à un changement des organisations sociales de travail en classe et de la mésogénèse. En effet, au début du jeu 4, le travail se fait en classe entière et l'enseignante écrit sur le tableau le modèle (énoncés scientifiques conceptuels) que doivent utiliser les élèves par la suite (voir 4.2.2).

À la fin du jeu 4 et dans le jeu 5, les élèves sont divisés en 4 groupes et chaque groupe dispose d'un objet matériel (une plante, une cellule photovoltaïque et un multimètre, un alternateur et un oscilloscope, un sèche-cheveux). Les élèves travaillent alors avec une feuille de papier pour construire des énoncés empiriques qu'ils exposent ensuite au tableau au reste de la classe (ce qui conduit à des débats).

Finalement, dans le jeu 6, l'organisation sociale est à nouveau en classe entière et l'enseignante utilise les traces écrites par les élèves au tableau pour institutionnaliser les savoirs sur leur polycopié.

On voit ainsi sur la figure 3 que l'objet matériel est le support de production d'énoncés empiriques, qui sont véhiculés de la feuille de papier (espace privé du groupe) au tableau (espace public) puis du tableau au polycopié (institutionnalisation de l'enseignante). Ce travail sémiotique permet la transformation dans le milieu de ces énoncés scientifiques empiriques en énoncés conceptuels.

Nous développons la logique de ce passage en analysant les jeux de langage dans lesquels il se fait.

#### 4.2.2. Un modèle d'opérationnalisation de l'énergie

Le modèle de la chaîne énergétique est introduit par l'enseignante lors du jeu 4, consacré aux formes d'énergie d'un convertisseur d'énergie [T 154] :

154. E : alors ce modèle donc je vais le reprendre au tableau donc vous avez bien compris vous allez vous mettre par groupe de trois donc je remets on est dans les principales formes d'énergie et chacun va avoir en sa possession dans chaque groupe *un objet convertisseur d'énergie que vous allez devoir décrire selon le modèle alors le modèle donc c'est le suivant on est donc le modèle c'est très simple* vous avez trois choses alors j'ai pas mon éponge si je vais vous demander de réfléchir sur la forme d'énergie entrante dans le convertisseur en question et la forme d'énergie sortante utile donc je le reprends ce modèle là donc vous avez le convertisseur donc forme de l'énergie sortante et peut-être que vous avez fait les curieux et que vous avez déjà vu des choses là d'accord donc c'est effectivement les quatre convertisseurs donc vous aurez chacun chaque groupe aura alors forme de l'énergie sortante utile et forme de l'énergie entrante d'accord (24 : 54)

Finalement, le modèle dessiné au tableau est le suivant (figure 4) :

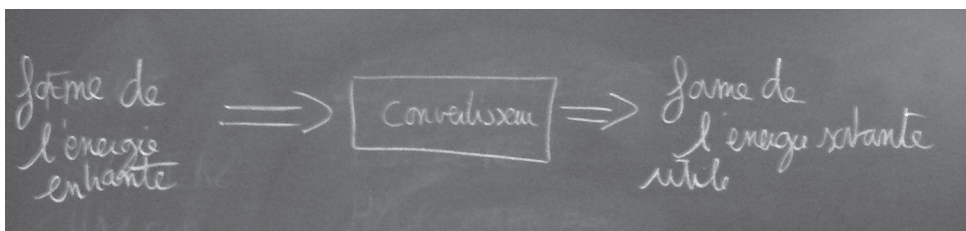


Figure 4 : schéma tracé au tableau par l'enseignante

Deux éléments nous semblent ici significatifs.

Tout d'abord, si l'enseignante emploie le mot « modèle », elle ne le définit pas comme étant le modèle « de la chaîne énergétique », il s'agit donc ici d'un premier modèle de la chaîne énergétique, simplifié car seule la forme d'énergie « sortante utile » est explicitée. C'est ce qu'elle explique dans l'entretien ante-séance [ante 128] :

127. NH : *et ces schémas là tu vas t'en servir après dans les chapitres futurs* en fait  
128. E : *oui chaque fois si tu veux chaque fois qu'il y a un convertisseur* je repars c'est pas forcément un rond c'est peut être un carré mais chaque fois oui *chaque fois qu'il y a un rendement à calculer toujours l'entrant, le sortant et puis les pertes* alors après pour certains élèves c'est bien pour d'autres ils en ont pas besoin ou ça va pas forcément ouais mais j'utilise ça ouais enfin la partie découverte oui jusque là jusqu'à ce soir un peu

Ainsi, dans les séances qui suivent, ce modèle sera complexifié en y ajoutant « les pertes », et des valeurs numériques pour « calculer un rendement ». Il constitue donc une ébauche de la mathématisation à venir du principe de conservation de l'énergie.

Deuxièmement, ce modèle a pour fonction de faire réfléchir les élèves : « je vais vous demander de réfléchir » [T 154] et de permettre de décrire un convertisseur d'énergie : « vous allez devoir décrire selon le modèle » [T 154]. Il a donc une fonction heuristique, dans le sens où c'est un élément qui va permettre de représenter les transformations énergétiques au sein d'un convertisseur d'énergie. Il s'agit par conséquent d'un élément qui va constituer la *grammaire* dans laquelle la description demandée va se dire. En ce sens, tous les énoncés portant sur ce modèle sont ici des énoncés conceptuels, qui appartiennent au monde des modèles et des théories scientifiques.

De plus, la notion de forme d'énergie n'a pas été définie en classe, c'est l'usage que vont en faire les élèves, à travers le modèle, qui leur permettra de donner un sens à cette notion.

#### 4.2.3. La construction d'un modèle énergétique d'une plante

L'enseignante circule ensuite de groupe en groupe et régule le milieu au sein de chacun de ces groupes. Cette régulation est faite de deux manières.

Elle encourage tout d'abord les élèves à jouer (acte de dévolution).

Par exemple, avec le groupe de la plante verte qui demande des explications [T 194-206] :

194. Mickaël : est-ce que ça existe l'énergie organique  
 195. Cédric : non mais non ça n'existe pas il y a l'énergie solaire  
 196. E : *là tu vois je vais pas te dire* si ça existe ou pas en fait ce qui va m'intéresser c'est que vous le présentiez à la classe et qu'on puisse en discuter  
 197. ?? : en entrée c'est l'énergie solaire  
 198. ?? : énergie  
 199. ?? : énergie lumineuse  
 200. ?? : il y a l'ozone c'est pas non plus de la lumière  
 201. ?? : bah ça fait des feuilles  
 202. E : *Pour vous il y a du raisonnement là voilà voilà continuez vous êtes dans la bonne*  
 203. Mickaël : oui mais pourquoi vous nous avez donné le plus dur  
 204. E : parce que vous êtes très intelligents  
 205. ?? : non c'est pas pour ça  
 206. E : *non c'est bien vous raisonnez bien là c'est continuez fouillez essayez de je ne vous réponds pas volontairement* (28 : 53)

En effet, elle ne répond pas aux questions posées, mais les incite à continuer ; « là tu vois je vais pas te dire » [T 196], « pour vous il y a du raisonnement là voilà voilà continuez vous êtes dans la bonne voie » [T 202], « non c'est bien vous raisonnez bien là c'est continuez fouillez essayez de je ne vous réponds pas volontairement » [T 206].

On retrouve dans l'entretien ante-séance des éléments sur la volonté qu'a l'enseignante de faire raisonner les élèves [ante 141-142] :

141. NH : donc toi ton rôle dans tout ça c'est

142. E : c'est une ouverture d'esprit c'est l'acquisition de connaissances aussi mais c'est essentiellement aussi oui *voilà une façon de raisonner une certaine forme de façon de raisonner de comprendre le monde*

Ce qui structure l'action de l'enseignante est donc la prise en charge du milieu par les élèves et leur *capacité à raisonner* sur les objets dont elle leur a confié la responsabilité, suivant le modèle qu'elle leur a donné. Les élèves mobilisent alors des énoncés conceptuels (ceux du modèle) pour exprimer des énoncés empiriques à propos des formes d'énergie spécifiques au convertisseur qu'ils ont à leur disposition. En ce sens, les énoncés produits par les groupes d'élèves relèvent de l'univers scientifique et décrivent le monde des objets et des événements.

Dans le jeu 5, les groupes présentent successivement leur travail au reste de la classe, ce qui permet d'appréhender une nouvelle fois la généralité du concept d'énergie. L'action de l'enseignante sur le milieu est plus importante dans ce jeu que dans le précédent. Elle régule le jeu en adaptant le milieu afin que les élèves produisent un énoncé scientifique empirique qui fasse consensus au sein de la classe. Si ce consensus est immédiat, elle ne participe pas à l'évolution du milieu, alors qu'elle intervient pour favoriser un consensus si celui-ci tarde à se former et qu'il y a débat. Ces énoncés sont par conséquent produits par l'ensemble des élèves, et non plus seulement par des groupes d'élèves.

Nous nous intéressons ici plus spécifiquement à la restitution du groupe sur la plante verte, car elle donne lieu à un débat.

Ce débat est en effet alimenté par un glissement de l'énergie [T 357] à la matière [T 358] dès le début de la restitution du groupe [T 356-358] :

356. Cédric : et *on sait pas* c'est quoi qui en sort

357. Mickaël : *si c'est l'énergie organique mais je sais pas si*

358. Paul : *ouais ça peut en faire de la matière organique mais on savait pas trop parce que ça fait aussi de la transpiration* (40 : 20)

À partir de cette intervention, les élèves se focalisent sur ce qu'il se passe dans la plante : « matière organique » [T 358], « transpiration » [T 358] pour le groupe plante ; des élèves de la classe introduisent d'autres éléments dans le milieu : « respiration » [T 360], « oxygène » [T 362-363], « O<sub>2</sub> » [T 373], « CO<sub>2</sub> » [T 373], « H<sub>2</sub>O » [T 377]. Deux autres élèves introduisent également la notion de « photosynthèse » [T 368 et 376].

Le débat s'articule alors sur la différence entre matière et énergie [T 372-378] :

372. Jérémie : il y a plusieurs énergies qui sont là

373. Clément : elle sort de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub>

374. E : il sort du O<sub>2</sub> du CO<sub>2</sub> ça c'est de l'énergie qui sort c'est ça

375. ?? : mais c'est pas de l'énergie

376. Guillaume : c'est la photosynthèse

377. Cindy : non c'est du H<sub>2</sub>O qui sort

378. ?? : non enfin il y a pas d'énergie qui sort c'est de la matière tout ça (41 : 05)

Ainsi, une interprétation énergétique du fonctionnement de la plante est difficile pour les élèves et sujette à débat, car le mécanisme de la photosynthèse est discuté et parce qu'ils associent matière et énergie. On retrouve donc dans ce débat la difficulté pour les élèves à s'abstraire du point de vue métaphysique, qui attache une conception substantialiste à l'énergie (Bruguière, Sivade & Cros, 2002).

#### 4.2.4. L'institutionnalisation des différentes formes d'énergie

La classification des différentes formes d'énergie est institutionnalisée lors du jeu 6.

L'enseignante reprend les chaînes énergétiques construites précédemment par les groupes d'élèves [T 394] :

394. E : allez *on va les reprendre un à un* et puis on va discuter un peu de ces énergies je vous rappelle l'objectif étant de dégager différentes formes d'énergies *et à moi de vous dire ensuite quelles sont les formes qui ont été et les noms et les termes qui ont été retenus par les physiciens d'accord au niveau de ces différentes catégories d'énergies* (42 : 50)

La définition des règles de ce jeu s'établit sur une prise de décision de l'enseignante concernant la topogénèse à venir. Elle déclare en effet : «à moi de vous dire ensuite», c'est-à-dire elle exprime ainsi la prédominance de son rôle dans le jeu. C'est effectivement ce que montrent les descripteurs où la topogénèse est largement du côté de l'enseignante (voir figure 3).

Elle fonde de plus son discours à venir en référence aux «noms et termes qui ont été retenus par les physiciens» et l'inscrit ainsi dans le monde des modèles et théories scientifiques.

L'enseignante justifie dans l'entretien post-séance l'importance de parler une même langue, en l'occurrence une langue commune avec la communauté scientifique [post 86] :

86. E : si euh ah si c'est une démarche consciente *pour leur montrer que là c'est les physiciens ont choisi de catégoriser par exemple en 5 6 avec l'énergie nucléaire et d'employer tel terme tel mot voilà parce que quand ils me disent chaleur je leur montrais que c'est pas faux ce qu'ils m'ont dit n'est pas faux simplement ce sera dit sous la forme énergie thermique voilà donc le mot c'est ce qu'il va falloir qu'ils apprennent voilà si tu veux c'est le terme c'est aussi je leur dis souvent pour pouvoir communiquer la science il faut qu'on parle un peu le même langage c'est plus facile donc il y a eu tout cet effort là qui a été fait notamment quand on parle des unités pour qu'on puisse un peu uniformiser pour qu'on puisse échanger ça c'est quelque chose que je dis c'est que la science elle se fait en échangeant et donc si on veut se comprendre c'est plus facile quand on emploie un peu les mêmes mots donc il y a cet aspect-là*

Elle donne à voir ici la communauté scientifique comme étant des physiciens qui font des choix («pour leur montrer que là c'est les physiciens ont choisi de catégoriser») : les savoirs ne sont par conséquent pas conçus indépendamment de ceux qui les ont produits.

Le travail rectificatif qui est mené dans les jeux de ce thème n'est en outre pas la mise au jour des erreurs des élèves puisqu'ils n'ont pas «faux». Autrement dit, le travail porte moins dans ce jeu sur la compréhension des élèves que sur



l'acquisition d'une convention linguistique : « donc le mot c'est ce qu'il va falloir qu'ils apprennent ». L'importance que donne l'enseignante aux mots est en outre justifiée par une conception sur la science : « c'est que la science elle se fait en échangeant », autrement dit faire des sciences, c'est échanger des idées par le langage : « si on veut se comprendre c'est plus facile quand on emploie les mêmes mots ».

#### 4.2.5. Conclusion

Cette deuxième partie de séance met l'accent sur l'opérationnalisation par les élèves des énoncés conceptuels introduits par l'enseignante (un modèle simplifié de la chaîne énergétique). Ils produisent ainsi collectivement des énoncés empiriques qui concernent les conversions d'énergie qui ont lieu dans des objets matériels particuliers. La stabilisation des énoncés empiriques produits par les élèves se fait progressivement dans une sorte de communauté scientifique à l'échelle de la classe : le travail tout d'abord « privé » de chaque groupe est rendu public au reste de la classe, et c'est cette confrontation qui conduit à un consensus sur un énoncé décrivant de manière adéquate les conversions d'énergie. Par comparaison avec le vocabulaire conventionnel utilisé par les physiciens, ces énoncés spécifiques sont généralisés et transformés à nouveau en énoncés conceptuels, qui permettront alors de représenter n'importe quelle conversion d'énergie.

C'est donc un travail sur le langage qui est au cœur de ces jeux, à la fois en tant que support du raisonnement des élèves (ils se mettent d'accord sur un *vocabulaire en utilisant une grammaire imposée*) et comme moyen de communication (*ils se mettent d'accord* sur ce vocabulaire).

### 5. De l'usage quotidien du mot « énergie » au concept scientifique : le « chemin » de l'abstraction

Nous pouvons, à partir de la description que nous avons faite de l'action conjointe, inférer les différentes étapes qui jalonnent le processus d'abstraction dans cette séance.

Nous modélisons ce « chemin » sur la figure 5, en mobilisant la théorie des deux mondes ; nous explicitons également les liens que nous avons tracés entre les deux mondes et les différentes dimensions du modèle.

Tout d'abord, nous avons décrit comment l'enseignante mobilise en début de séance les énoncés de langage courant des élèves. Nous interprétons ce passage progressif du registre du langage courant vers le langage scientifique comme une dévolution des jeux à venir : le travail qui est fait sur le langage courant n'est pas encore étude de savoirs scientifiques, mais pourtant il y participe en montrant que la pluralité des acceptions des mots renvoie à des usages différents ; il vise également à faire entrer l'élève dans l'acception spécifique qu'en fait la physique. C'est donc un travail sur la langue qui est au cœur de l'activité scolaire scientifique proposée ici. Ce travail sur le langage courant vise ainsi selon nous à établir un pont entre deux mondes : le monde des objets et des événements, auquel se réfèrent les mots



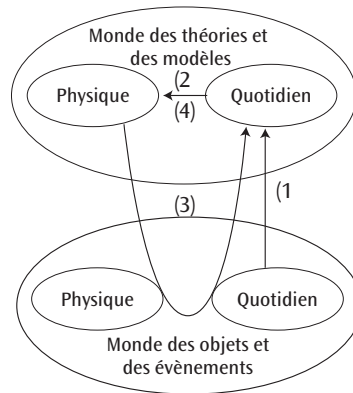


Figure 5 : « chemin » pris par le processus d'abstraction dans la séance décrite

introduits par les élèves, et le monde des théories et des modèles, car ces mots sont l'occasion d'une problématisation et d'un début de conceptualisation de l'énergie. Le point nodal de ce passage est ici la reconnaissance de la difficulté à définir l'énergie : définir l'énergie, c'est trouver ce qui est commun à des usages qui n'ont rien à voir dans le monde du quotidien (lien 1 sur la figure 5). Le travail de conceptualisation est alors mené uniquement dans le monde des théories et des modèles (lien 2) : la part des énoncés scientifiques conceptuels augmente et l'action conjointe est guidée par l'enseignante (c'est elle qui contrôle de plus en plus la topogénèse) pour progressivement construire le concept scientifique. Ce processus est rendu apparent par l'inscription de l'énergie dans un réseau de concepts (le travail, la force), mais surtout par la mobilisation du concept de « concept ». L'institutionnalisation de la nature d'un concept en physique, « représentation[s] mentale[s] d'une idée abstraite » que l'on peut opérationnaliser grâce aux mathématiques, montre bien que l'objectif de l'enseignante est de faire entrer les élèves dans la partie « physique » du monde des théories et des modèles, en leur fournissant des repères épistémologiques.

Le modèle de la chaîne énergétique introduit par l'enseignante pour représenter les transformations énergétiques dans un convertisseur d'énergie est dans cette séance un outil permettant de produire des énoncés empiriques à partir d'énoncés conceptuels. Il précède ainsi l'étude des formes d'énergie car c'est justement les énoncés conceptuels du modèle qui vont permettre de formuler les énoncés empiriques. Il y a donc ici un lien (lien 3 sur la figure 5) qui est fait entre le monde des théories et des modèles et le monde des objets et des événements (les quatre convertisseurs d'énergie). Pour cette enseignante, ce modèle est un outil heuristique d'enrichissement de la connaissance, qui sera de plus amélioré dans les séances suivantes. L'activité de modélisation des élèves est ainsi à l'interface des deux mondes, puisqu'ils formulent des énoncés empiriques à partir du modèle fourni et dans le cas particulier des convertisseurs qu'ils ont à leur disposition, et puisque ces énoncés mobilisent des conceptions sur les transformations en jeu (comme dans le cas de la plante).

Finalement, ces énoncés produits sont confrontés à la catégorisation générale établie par la communauté scientifique. Il y a donc en fin de séance un retour qui est fait dans la partie « physique » du monde des théories et des modèles (lien 4).

Nous observons sur la figure 5 que le processus d'abstraction que nous avons décrit est dynamique, et s'incarne de différentes manières dans l'action conjointe. On note également qu'il circule entre les deux mondes et qu'il assure ainsi leur mise en relation, ce qui est le propre d'une activité scientifique. Cette circulation est de plus facilitée, de notre point de vue, par des éléments d'épistémologie introduits par l'enseignante (l'explicitation de la nature conceptuelle de l'énergie, le modèle de la chaîne énergétique, la simulation d'une communauté scientifique à l'échelle de la classe).

## 6. Discussion et conclusion

### 6.1. Discussion

Nous avons mobilisé dans notre travail deux types de cadres théoriques : sur l'*action*, avec la TACD ; sur les *savoirs*, avec la théorie des deux mondes, l'explicitation épistémologique de la nature du concept d'énergie en physique.

Nous discutons maintenant leur mise en relation dans ce travail.

Les outils théoriques liés aux savoirs en jeu permettent de caractériser le développement de ces savoirs au cours de la séance. Ils nous ont ainsi permis de constituer des indicateurs, qui nous renseignent sur la nature du savoir en construction dans la classe, et c'est alors en référence à la théorie des deux mondes et à l'épistémologie de l'énergie en physique que nous décrivons les différentes étapes du processus d'abstraction. Toutefois, ces outils théoriques ne nous donnent pas les moyens de répondre à notre question de recherche : « comment l'abstraction du concept d'énergie est-elle construite en classe ? ». En effet, ils ne nous permettent pas de décrire l'action dans laquelle s'incarne le développement des savoirs. C'est donc la mobilisation d'un autre cadre théorique qui fonde notre description de l'action didactique afin de comprendre comment le milieu évolue, à partir de quelles actions, de quels acteurs, et comment l'enseignant et les élèves construisent *in fine* une référence commune sur l'énergie à partir d'une série d'interactions langagières.

Ces deux types d'outils théoriques nous apparaissent donc complémentaires, car c'est la mise en œuvre simultanée de ces deux regards qui constitue une description d'une séance d'enseignement/apprentissage plus fine que ne pourrait le faire un professionnel de l'enseignement focalisé sur les gestes d'enseignement, ou bien un spécialiste de l'énergie, qui serait centré sur les savoirs. Ce sont en effet dans notre étude les outils sur la nature des savoirs qui permettent d'identifier tout le travail épistémologique explicite que mène l'enseignante, mais ce travail sur les savoirs est incorporé dans une organisation didactique, et à ce titre nous percevons bien par exemple que le processus épistémique par lequel les élèves modélisent un

convertisseur d'énergie est aussi dépendant de processus de régulation du milieu par l'enseignante, qui par exemple donne à voir à toute la classe l'action développée dans un groupe pour initier une appropriation collective.

Ainsi, c'est avec ce double regard que nous avons analysé notre étude de cas d'une pratique « ordinaire » d'enseignement. Il convient également de questionner ici la portée d'une telle recherche. En tant qu'étude de cas, notre recherche est nécessairement singulière et en tant qu'analyse d'une pratique « ordinaire », son ambition est de montrer une pratique d'enseignement, au plus près de ce qu'il se passe effectivement dans les classes. On pourrait voir une sorte de paradoxe entre la singularité de l'étude et la recherche de généralités qui seraient caractéristiques de l'« ordinaire » des pratiques. Mais c'est en documentant ainsi ces pratiques que nous pourrions peu à peu isoler certaines tendances récurrentes définissant différents types de cas représentatifs susceptibles d'être étudiés plus finement. C'est à cela que participe cette étude.

## 6.2. Conclusion

Nous avons décrit dans cet article une pratique « ordinaire » d'enseignement de l'énergie (la séance d'introduction). Les trois propriétés du concept d'énergie (sa généralité, la mathématisation des grandeurs qui lui sont liés, sa métaphysique), qui font de l'énergie un concept très abstrait, se retrouvent dans la description que nous avons faite. Cette étude montre ainsi que l'enseignement de l'énergie est aussi l'enseignement de son abstraction ; l'abstraction du concept n'est donc pas seulement un obstacle à l'apprentissage, mais également un objet d'apprentissage pour les élèves.

À travers la description de ce cas particulier, il nous semble pouvoir proposer des éléments généralisables à l'enseignement de l'énergie : comment favoriser l'apprentissage de l'abstraction par les élèves ?

Tout d'abord, la généralité du concept d'énergie peut être construite à la fois à partir des usages courants du mot, des conceptions des élèves, mais aussi par la médiation d'objets (du quotidien ou propres au laboratoire). La nature mathématique des concepts physiques, et de l'énergie en particulier, peut être abordée par l'introduction d'éléments épistémologiques, transposés au niveau secondaire. Dans cette séance, la mathématisation de l'énergie n'est qu'effleurée puisqu'elle fera l'objet des séances suivantes, mais il est intéressant de constater qu'elle peut être posée sans manipuler à proprement parler des modèles mathématiques. Enfin, les éléments d'épistémologie ou bien de sociologie des sciences peuvent donner du sens à l'énergie, en permettant une distinction des deux mondes et en rendant apparent le processus de production des éléments conceptuels de la physique. Nous estimons donc que ce sens donné est une réponse possible à la métaphysique du concept.

La trajectoire prise par l'abstraction dans cette séance, en tant que processus, montre de plus la dynamique de la construction épistémique en classe. En ce sens, la théorie des deux mondes est un cadre intéressant pour analyser l'épistémologie sous-tendant les savoirs qui sont incarnés dans l'action conjointe. Il nous semble

également que notre étude montre qu'il y a un intérêt à envisager la conceptualisation en physique, non pas comme un simple mouvement linéaire du concret vers l'abstrait mais comme un dialogue vivant, une dialectique, entre ces deux manières d'appréhender la connaissance. Les différentes formes scolaires que peut prendre ce dialogue et leurs effets sur l'apprentissage des élèves en termes de conceptualisation constituent pour la didactique de la physique des questions encore très largement ouvertes.

**Nicolas Hervé**

nicolas.herve@educagri.fr

**Patrice Venturini**

patrice.venturini@univ-tlse2.fr

**Virginie Albe**

virginie.albe@stef.ens-cachan.fr

## BIBLIOGRAPHIE

- BALIBAR F. (1999). Article « énergie ». In D. Lecourt (éd.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*. Paris : Presses universitaires de France, p. 342-347.
- BALLINI P., ROBARDET G. & ROLANDO J.-M. (1997). L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en première S. *Aster*, n° 24, p. 81-112.
- BRUGUIÈRE C., SIVADE A. & CROS D. (2002). Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique ? *Didaskalia*, n° 20, p. 67-100.
- CAVELL S. (1979/2012). *Les voix de la raison*. Paris : Seuil.
- CHALMERS A. F. (1987). *Qu'est-ce que la science ?* Paris : La Découverte.
- DOBROVOLSKIJ W. (1968). Développement de la théorie des vecteurs et des quaternions dans les travaux des mathématiciens russes du XIX<sup>e</sup> siècle. *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, vol. 21, n° 4, p. 345-349.
- FEYNMAN R. (1963/1999). *Le cours de physique de Feynman. Mécanique 1*. Paris : Dunod.
- HERVÉ N., VENTURINI P. & ALBE V. (2013). Enseigner un savoir stabilisé et une controverse socioscientifique, quelles différences et similitudes ? Exemple d'une pratique ordinaire d'enseignement en physique. *Dossier des sciences de l'éducation*, n° 29, p. 45-66.
- KOLIOPOULOS D. & RAVANIS K. (1998). L'enseignement de l'énergie au collège

- vu par les enseignants. Grille d'analyse de leurs conceptions. *Aster*, n° 26, p. 165-182.
- KUHN T.S. (1959/1990). *La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*. Paris : Gallimard.
- MERCIER A., SCHUBAUER-LEONI M.-L. & SENSEVY G. (2002). Vers une didactique comparée. *Revue française de pédagogie*, n° 141, p. 5-16.
- PATY M. (2001). Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire. *Principia*, n° 5, p. 209-240.
- POINCARÉ H. (1902/1992). *La science et l'hypothèse*. Paris : Flammarion.
- POURPRIX B. (2007). De la reconstitution de la physique allemande du XIX<sup>e</sup> siècle : les exemples de Georg Simon Ohm et Hermann Helmholtz. *Revue d'histoire des sciences*, n° 60, p. 185-202.
- REFERENTIEL STAV (2006). *Référentiel de formation du baccalauréat technologique série Sciences et technologies de l'agronomie et du vivant*. Lempdes : CNPR.
- SCHULTE J. (1992). *Lire Wittgenstein*. Paris : L'Éclat.
- SECK M. (2008). Analyse de la « vie » du savoir en classe de physique. Cas de l'énergie en 1<sup>re</sup> S. *Didaskalia*, n° 33, p. 89-119.
- SENSEVY G. (2011). *Le sens du savoir*. Bruxelles : De Boeck.
- STENGERS I. & BENS AUDE-VINCENT B. (2003). Article « métaphysique ». *100 mots pour commencer à penser les sciences*. Paris : Les Empêcheurs de penser en rond.
- TIBERGHIE N A., VINCE J. & GAIDIOZ, P. (2009). Design-based research: case of teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, vol. 31, n° 17, p. 2275-2314.
- TRELLU J.-L. & TOUSSAINT J. (1986). La conservation, un grand principe. *Aster*, n° 2, 43-87.
- VEILLARD L, TIBERGHIE N A. & VINCE J. (2011). Analyse d'une activité de conception collaborative de ressources pour l'enseignement de la physique et la formation des professeurs : le rôle de théories ou outils spécifiques. *Activités*, vol. 8, n° 2, p. 202-227.
- VENTURINI P. & TIBERGHIE N A. (2012). La démarche d'investigation dans le cadre des nouveaux programmes de sciences physiques et chimiques : étude de cas au collège, *Revue française de pédagogie*, n° 180, p. 95-120.

